

# ULTRASONIC PROBE AND ULTRASONIC DIAGNOSTIC APPARATUS USING THE SAME

**Publication number:** JP11076239 (A)

**Publication date:** 1999-03-23

**Inventor(s):** KOBAYASHI TAKASHI +

**Applicant(s):** TOSHIBA CORP +

**Classification:**

**- international:** A61B8/00; A61B8/06; G01N29/24; H04R17/00; A61B8/00;  
A61B8/06; G01N29/24; H04R17/00; (IPC1-7): A61B8/06;  
G01N29/24

**- European:**

**Application number:** JP19970237968 19970903

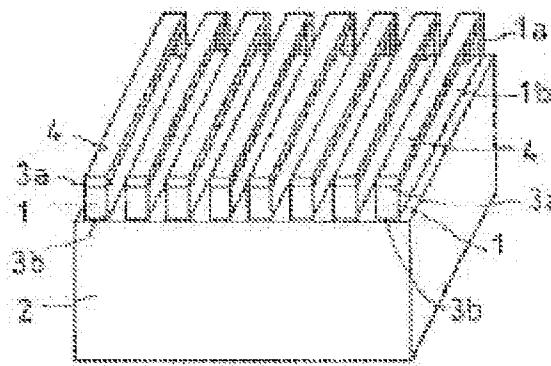
**Priority number(s):** JP19970237968 19970903

**Also published as:**

JP3529600 (B2)

## Abstract of JP 11076239 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To achieve a broader band of an ultrasonic probe by arranging at least one of a plurality of vibrators disposed in an array to be made up of first and second piezo-electric monocrystalline parts different in the center frequency and the maximum of the frequency characteristic in the echo sensitivity to restrict the lowering of the signal level. **SOLUTION:** An ultrasonic probe is manufactured by using a zinc niobate lead-lead titanate piezo-electric monocrystalline  $Pb((Zn1/3Nb2/3)1-xTi_x)O_2$  (wherein  $x$  is  $0.05 \leq x \leq 0.2$ ). In other words, to obtain a monocrystalline material,  $PbO$ ,  $ZnO$ ,  $Nb_2O_5$  and  $TiO_2$  with the purity thereof exceeding about 99.99% are mixed with zinc niobate lead and lead titanate to bring the mol ratio to about 91: about 9 and undergo a heating processing in an electric furnace.; The mixture thus obtained is sliced into a wafer with a specified thickness to form a piezo-electric monocrystalline sheet 1 having a part 1a low in transmittance and a part 1b high therein. The plurality of the piezo-electric single crystal sheets 1 are mounted on a packing material 2 to form an ultrasonic probe, thereby obtaining a broad band characteristic.



Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-76239

(43)公開日 平成11年(1999)3月23日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

A 6 1 B 8/06  
G 0 1 N 29/24

識別記号

5 0 2

F I

A 6 1 B 8/06  
G 0 1 N 29/24

5 0 2

審査請求 未請求 請求項の数11 O.L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平9-237968

(22)出願日 平成9年(1997)9月3日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 小林 剛史

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

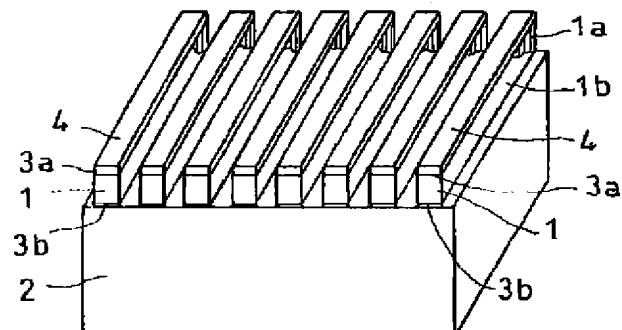
(74)代理人 弁理士 外川 英明

(54)【発明の名称】 超音波プローブ及びこれを用いた超音波診断装置

(57)【要約】

【課題】 多数の振動子をアレイ状に配列した超音波プローブにおいて、信号レベルを低下させずに、従来よりも広範囲のドップラリファレンス周波数を設定できる広帯域特性の超音波プローブを提供する。

【解決手段】 複数の振動子をアレイ状に配列した超音波プローブであって、前記振動子の中の少なくとも1つの振動子は、厚さ1mmにおける波長400nmの光に対する透過率が0.1未満の圧電単結晶からなる部分1aを5%以上、30%未満有する圧電体1を含む超音波プローブを提供する。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の振動子をアレイ状に配列した超音波プローブであって、前記振動子の中の少なくとも1つの振動子は、所定の中心周波数及び所定のエコー感度の周波数特性の最大値を有する第1の圧電単結晶部分と、この第1の圧電単結晶部分よりも中心周波数が低く、かつエコー感度の周波数特性の最大値が小さい第2の圧電単結晶部分とを備えたことを特徴とする超音波プローブ。

【請求項2】 前記第1及び第2の圧電単結晶部分の少なくとも一つは、 $Pb((M_{1/3}Nb_{(2/3)-(2z/3)}Ta_{2z/3})_{1-x-y}Ti_xM_{2y})O_3$  ( $M_1$ は $Zn$ 、 $Ni$ 及び $Mg$ から選ばれる少なくとも1つの金属、 $M_2$ は $Pt$ 、 $Fe$ 、 $Bi$ 、 $Rh$ 及び $Ir$ から選ばれる少なくとも1つの金属を示し、 $x$ 、 $y$ 及び $z$ はそれぞれ $0.05 \leq x \leq 0.2$ 、 $0 \leq y \leq 0.01$ 、 $0 \leq z \leq 0.1$ である。)として規定されるペロブスカイト型複合酸化物からなることを特徴とする請求項1記載の超音波プローブ。

【請求項3】 前記第1及び第2の圧電単結晶部分の少なくとも一つは、 $Pb((M_{3/2}Nb_{(1/2)-(z/2)}Ta_{z/2})_{1-x-y}Ti_xM_{2y})O_3$  ( $M_2$ は $Pt$ 、 $Fe$ 、 $Bi$ 、 $Rh$ 及び $Ir$ から選ばれる少なくとも1つの金属、 $M_3$ は $Sc$ および $In$ から選ばれる少なくとも1つの金属を示し、 $x$ 、 $y$ 及び $z$ はそれぞれ $0.2 \leq x \leq 0.6$ 、 $0 \leq y \leq 0.01$ 、 $0 \leq z \leq 0.1$ である。)として規定されるペロブスカイト型複合酸化物からなることを特徴とする請求項1記載の超音波プローブ。

【請求項4】 前記第1及び第2の圧電単結晶部分の少なくとも一つは、 $Pb((Zn_{1/3}Nb_{2/3})_{1-x}Ti_x)O_3$  ( $x$ は $0.05 \leq x \leq 0.2$ である。)として規定されるペロブスカイト型複合酸化物からなることを特徴とする請求項1記載の超音波プローブ。

【請求項5】 複数の振動子をアレイ状に配列した超音波プローブであって、前記振動子の中の少なくとも1つの振動子は、厚さ $1\text{mm}$ における波長 $400\text{nm}$ の光に対する透過率が $0.1$ 未満の圧電単結晶からなる部分を $5\%$ 以上、 $30\%$ 未満有する圧電体を含むことを特徴とする超音波プローブ。

【請求項6】 前記圧電単結晶からなる部分は、 $Pb((M_{1/3}Nb_{(2/3)-(2z/3)}Ta_{2z/3})_{1-x-y}Ti_xM_{2y})O_3$  ( $M_1$ は $Zn$ 、 $Ni$ 及び $Mg$ から選ばれる少なくとも1つの金属、 $M_2$ は $Pt$ 、 $Fe$ 、 $Bi$ 、 $Rh$ 及び $Ir$ から選ばれる少なくとも1つの金属を示し、 $x$ 、 $y$ 及び $z$ はそれぞれ $0.05 \leq x \leq 0.2$ 、 $0 \leq y \leq 0.01$ 、 $0 \leq z \leq 0.1$ である。)として規定されるペロブスカイト型複合酸化物からなることを特徴とする請求項5記載の超音波プローブ。

【請求項7】 前記圧電単結晶からなる部分は、 $Pb((M_{3/2}Nb_{(1/2)-(z/2)}Ta_{z/2})_{1-x-y}Ti_x$

2

$M_{2y})O_3$  ( $M_2$ は $Pt$ 、 $Fe$ 、 $Bi$ 、 $Rh$ 及び $Ir$ から選ばれる少なくとも1つの金属、 $M_3$ は $Sc$ および $In$ から選ばれる少なくとも1つの金属を示し、 $x$ 、 $y$ 及び $z$ はそれぞれ $0.2 \leq x \leq 0.6$ 、 $0 \leq y \leq 0.01$ 、 $0 \leq z \leq 0.1$ である。)として規定されるペロブスカイト型複合酸化物からなることを特徴とする請求項5記載の超音波プローブ。

【請求項8】 前記圧電単結晶からなる部分は、 $Pb((Zn_{1/3}Nb_{2/3})_{1-x}Ti_x)O_3$  ( $x$ は $0.05 \leq x \leq 0.2$ である。)として規定されるペロブスカイト型複合酸化物からなることを特徴とする請求項5記載の超音波プローブ。

【請求項9】 前記圧電体は単結晶からなることを特徴とする請求項5乃至8記載の超音波プローブ。

【請求項10】 複数の振動子をアレイ状に配列した超音波プローブであって、前記振動子の中の少なくとも1つの振動子は、所定の中心周波数及び所定のエコー感度の周波数特性の最大値を有する第1の圧電単結晶部分と、この第1の圧電単結晶部分よりも中心周波数が低く、かつエコー感度の周波数特性の最大値が小さい第2の圧電単結晶部分とを備えた超音波プローブを用いたことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項11】 複数の振動子をアレイ状に配列した超音波プローブであって、前記振動子の中の少なくとも1つの振動子は、厚さ $1\text{mm}$ における波長 $400\text{nm}$ の光に対する透過率が $0.1$ 未満の圧電単結晶からなる部分を $5\%$ 以上、 $30\%$ 未満有する圧電体を含む超音波プローブを用いた超音波診断装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、超音波診断装置、探傷装置などに用いられる超音波プローブ及びこれを用いた超音波診断装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 超音波プローブが用いられた超音波画像装置には人体内部を検査する為の医用診断装置や、金属構造物内部の欠陥を検査する為の探傷装置などがある。このうち医用診断装置では、人体の断層像（Bモード像）に加え、超音波の血流によるドプラシフトにより血流速度を2次元カラー表示するカラーフローマッピング（CFM）法が開発されている。超音波プローブの中心周波数はその診断対象によって様々に設計されているが、このBモード像を得るためのプローブの中心周波数と、CFM像を得るドプラモードの為の周波数（ドプラリファレンス周波数）は、例えば前者が $3.75\text{MHz}$ 、後者が $2.5\text{MHz}$ と2種の異なる周波数を設定する場合がある。

【0003】 超音波プローブの最大感度、すなわち反射エコーの信号レベルが最大になるのは、Bモード像を得る為の周波数領域、前記の例では $3.75\text{MHz}$ 近傍に設

定してあり、従ってドプラモードでのドプラリファレンス周波数、前記の例では2.5MHzでの信号レベルは小さくなる。また、ドプラモードでは微小な血球からの反射エコーを利用しているため、得られる信号レベルはさらに小さくなる傾向がある。

【0004】そのため、超音波プローブにはBモード像の為の周波数のみならずドプラリファレンス周波数でも大きな信号レベルが得られるものが望ましい。言い替えれば広帯域な特性を持つプローブが求められている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、超音波プローブは広い周波数領域に渡って大きな信号レベルが得られるものが望ましい。超音波プローブの広帯域化を図る手段として、超音波送受信素子の残留振動を抑制する為に素子の背面に設けられたパッキング材に、音響インピーダンスが大きなものを用いる事が考えられる。しかしながらこの手段により、確かにプローブの広帯域化は実現できるが、一方で全体の信号レベルが著しく低下してしまう。本発明の目的は信号レベルの著しい低下を招かずに対音波プローブの広帯域化を図る事である。

【0006】

【課題を解決するための手段】前述した課題を解決するため本発明は、複数の振動子をアレイ状に配列した超音波プローブであって、前記振動子の中の少なくとも1つの振動子は、所定の中心周波数及び所定のエコー感度の周波数特性の最大値を有する第1の圧電単結晶部分と、この第1の圧電単結晶部分よりも中心周波数が低く、かつエコー感度の周波数特性の最大値が小さい第2の圧電単結晶部分とを備えたことを特徴とする超音波プローブを提供する。

【0007】また本発明は、複数の振動子をアレイ状に配列した超音波プローブであって、前記振動子の中の少なくとも1つの振動子は、厚さ1mmにおける波長400nmの光に対する透過率が0.1未満の圧電単結晶からなる部分を5%以上、30%未満有する圧電体を含むことを特徴とする超音波プローブを提供する。

【0008】上記した本発明において、以下の態様が望ましい。

(1) 前記第1及び第2の圧電単結晶部分の少なくとも一つ、或いは前記圧電単結晶からなる部分は、 $Pb(M_{1/3}Nb_{(2/3)-(2z/3)}Ta_{2z/3})_{1-x-y}Ti_xM_{2y}O_3$  ( $M_1$ は $Zn$ 、 $Ni$ 及び $Mg$ から選ばれる少なくとも1つの金属、 $M_2$ は $Pt$ 、 $Fe$ 、 $Bi$ 、 $Rh$ 及び $Ir$ から選ばれる少なくとも1つの金属を示し、 $x$ 、 $y$ 及び $z$ はそれぞれ $0.05 \leq x \leq 0.2$ 、 $0 \leq y \leq 0.01$  (好ましくは、 $0.00001 \leq y \leq 0.01$ )、 $0 \leq z \leq 0.1$ である。) として規定されるペロブスカイト型複合酸化物からなること。

【0009】(2) 前記第1及び第2の圧電単結晶部分の少なくとも一つ、或いは前記圧電単結晶からなる部分

は、 $Pb(M_{3 1/2}Nb_{(1/2)-(z/2)}Ta_{z/2})_{1-x-y}Ti_xM_{2y}O_3$  ( $M_2$ は $Pt$ 、 $Fe$ 、 $Bi$ 、 $Rh$ 及び $Ir$ から選ばれる少なくとも1つの金属、 $M_3$ は $Sc$ および $In$ から選ばれる少なくとも1つの金属を示し、 $x$ 、 $y$ 及び $z$ はそれぞれ $0.2 \leq x \leq 0.6$ 、 $0 \leq y \leq 0.01$  (好ましくは、 $0.00001 \leq y \leq 0.01$ )、 $0 \leq z \leq 0.1$ である。) として規定されるペロブスカイト型複合酸化物からなること。

【0010】(3) 前記第1及び第2の圧電単結晶部分

の少なくとも一つ、或いは前記圧電単結晶からなる部分は、 $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})_{1-x}Ti_xO_3$  ( $x$ は $0.05 \leq x \leq 0.2$ である。) として規定されるペロブスカイト型複合酸化物からなること。

【0011】(4) 前記圧電体は単結晶からなること。

また本発明は、複数の振動子をアレイ状に配列した超音波プローブであって、前記振動子の中の少なくとも1つの振動子は、所定の中心周波数及び所定のエコー感度の周波数特性の最大値を有する第1の圧電単結晶部分と、この第1の圧電単結晶部分よりも中心周波数が低く、かつエコー感度の周波数特性の最大値が小さい第2の圧電単結晶部分とを備えた上記超音波プローブを用いたことを特徴とする超音波診断装置を提供する。

【0012】さらにまた本発明は、複数の振動子をアレイ状に配列した超音波プローブであって、前記振動子の中の少なくとも1つの振動子は、厚さ1mmにおける波長400nmの光に対する透過率が0.1未満の圧電単結晶からなる部分を5%以上、30%未満有する圧電体を含む上記超音波プローブを用いた超音波診断装置を提供する。

【0013】

【発明の実施の形態】本発明に係わる圧電単結晶を用いた振動子は、厚さ1mmにおける波長400nmの光に対する透過率が0.1未満の部分を5%以上、30%未満有している。この透過率が0.1未満の部分 (透過率が低い部分と呼ぶ。) は、透過率が0.1以上の部分 (透過率が高い部分と呼ぶ。) に比べ、同じ厚さでも $<0.01$ 方位の厚み縦振動の共振周波数が10~20%程度小さいことが、本発明者によって見出された。

【0014】そのため、アレイ状に多数配列された振動

子の一本一本が、異なる2種の共振周波数を有する振動子の複合体のような振る舞いを示し、单一の共振周波数を有する従来の振動子に較べ、広い周波数領域にわたって高い信号レベルが得られる。

【0015】図1は、上記圧電振動子における周波数とエコー感度との関係を示す特性図である。この図に示されるように、点線で示される共振周波数の高い部分の周波数特性曲線 (透過率の高い部分に相当する。) と、一点破線で示される共振周波数の低い部分の周波数特性曲線 (透過率の低い部分に相当する。) とを合成することにより、実線で表される周波数特性曲線が得られる。こ

の実線の周波数特性曲線は、広い周波数帯域にわたってエコー感度が高くなっている、高い信号レベルが得られることがわかる。

【0016】図1においては、実線の周波数特性曲線のエコー感度最高値から6dB小さいエコー感度における周波数値は $f_1$  (1.65MHz) と $f_2$  (5.40MHz) であり、中心周波数は3.53MHzである。したがって、-6dB比帯域 ( $f_1$  と $f_2$  の差を中心周波数で割った値) は106%となる。

【0017】特に、本発明者が検討した結果、一本の振動子中に含まれる透明度の低い部分の割合を5%以上30%未満としたときに、特に信号レベルに著しい低下を招かずには、超音波プローブの広帯域化が可能であることを見出した。その結果、Bモード像とCFM像の双方に高い信号レベルが得られ、透明度の低い部分を含まない圧電単結晶やジルコン酸チタン酸鉛系圧電セラミックスを用いた超音波プローブに比べて広帯域特性の超音波プローブを提供できる。

【0018】ただ、振動子に含まれる透過率の低い部分の割合が5%未満の場合、広帯域化の効果は顕著に現れず、30%を越える場合はある程度の広帯域化はなされるが、全体の信号レベルが低下してしまう。

#### 【0019】

##### 【実施例】

(実施例1) 亜鉛ニオブ酸鉛-チタン酸鉛圧電単結晶Pb<sub>(Zn<sub>1/3</sub> Nb<sub>2/3</sub>)<sub>1-x</sub> Ti<sub>x</sub> }O<sub>3</sub> (xは0.05≤x≤0.2である。) を用いて超音波プローブを作製した。</sub>

【0020】まず、単結晶原料として純度99.99%以上のPbO、ZnO、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>を、亜鉛ニオブ酸鉛とチタン酸鉛が91:9のモル比となるように秤量し、融材として単結晶原料の1.2倍のPbOを加えた。これを雷漬機で20分混合し、250ccの白金坩堝に充填し、さらに電気炉中で1270℃に加熱して10時間保持した。その後、1℃/hの速度で900℃まで徐冷し、室温までは自然冷却した。

【0021】次に、白金坩堝内の単結晶と融材の混合した固形物から融材を割り、中の単結晶塊を取り出した。丸みを帯びた、1辺がおよそ3.5mmの平行6面体の単結晶が得られ、X線回折でペロブスカイト構造を成している事を確認した。前記単結晶塊をラウエカメラで観察することにより、その<001>の方位を確定し、これを垂直にダイヤモンドカッターで1mm厚にスライスし、(001)ウエハを得た。

【0022】次に、鏡面研磨を行い、この後に前記(001)ウエハの表面を観察すると、ウエハには光学的に透過率の高い部分と低い部分との2種類が混在して観察された。透過率の高い部分と低い部分は、図3における圧電単結晶薄板1の部分1b、1aにそれぞれ相当する。ここで、ウエハの透過率の測定は以下に述べる手法

により行った。

【0023】即ち、まず、キセノンランプを光源とし、モノクロメータを介して波長400nmの単色光を得、さらにレンズを介してウエハ表面でのスポット径が1mmΦになるように集光した。このスポット光の単位面積当たりのパワーが10μW/cmになるよう光源の出力を調整した。30×30×1mmの(001)ウエハの両面を鏡面研磨し、(001)面に垂直に光が入射するように設置した。(001)ウエハの透過光をシリコンのフォトダイオードを用いた光パワーメータで計測し、別途測定したウエハへ入射する直前の光の強度に対する透過光の強度比として透過率を求めた。

【0024】以上述べた透過率の測定方法に基づいて、波長400nmの光を使用して、ウエハ1の透過率を測定したところ、比較的透過率が高い部分は一様に30%以上の透過率で、比較的透過率が低い部分は一様に5%以下の透過率であった。

【0025】次に、前記(001)ウエハの両面を#2000の研磨材で厚み0.24mmに研磨し、Ti/Auをスパッタメタライズして電極を構成した。先述の透過率の高い部分と低い部分をそれぞれ含むように、上記ウエハから幅0.12mm×長さ14mm×厚み0.24mmの短冊状振動子を10本切り出し、電気機械結合係数k<sub>33'</sub>を測定した。

【0026】透過率の高い部分から切り出した振動子は平均でk<sub>33'</sub>=84%となり、共振周波数(f<sub>r</sub>)と厚みの積で表される周波数定数N<sub>r</sub>が820Hz·mmとなつた。一方、透過率が低い部分はk<sub>33'</sub>が80%、周波数定数N<sub>r</sub>が720Hz·mmとなり、透過率の低い部分は同じ厚みでも共振周波数が低いことがわかった。

【0027】次に、前記単結晶塊から切りだした別の(001)ウエハを用いて以下に示す手順で超音波プローブを作製した。まず、(001)ウエハの両面を#2000の研磨材で0.24mmに研磨し、Ti/Auをスパッタメタライズして電極を構成した。

【0028】次に、図3に示すようにダイシングソーで幅20mm×長さ14mm×厚み0.24mmの薄板に加工した。この図3には電極を示していないが、圧電単結晶薄板1の両面に電極が形成されている。この電極は、後の図4に示す短冊状振動子の電極3a及び3bに相当する。この際、図3に示す如く、圧電単結晶薄板1の面積の8%から12%が先述の透過率が低い部分となるよう、(001)ウエハから切り出しを行った。

【0029】この圧電単結晶薄板1に対して、210℃のシリコーンオイル中で600V/mmの電界を10分間印加し、電界を保持したまま40℃まで冷却して分極処理を施し、電気機械結合係数k<sub>t</sub>を測定したところ、k<sub>t</sub>=54%であった。

【0030】次に、上記薄板の片面に128chのフレキシブル配線基盤(FPC) (図示せず。) を、もう一方

の面に銅箔からなるアース板（図示せず。）を半田付けて、各々半田付けした部分の裏側の電極をエッティングにより除去した。次に、図2に示すようにFPCを取り付けた面にパッキング材2を、アース板を取り付けた面にマッチング層4を接着した。

【0031】次に、FPCのチャンネルピッチ（150  $\mu\text{m}$ ）に合わせ、マッチング層4と上記薄板をダイシングソーダ幅30  $\mu\text{m}$ のブレードにより深さ400  $\mu\text{m}$ （約50  $\mu\text{m}$  パッキング材2に切れ込む。）で128素子にアレイ加工し、図示しない音響レンズをマッチング層4上に接着し、図1に示すような超音波プローブを作製した。

【0032】この超音波プローブの反射エコーをパルスエコー法により測定し、すべての素子から3.55±0.15MHz以内の中心周波数を有するエコーが受信され、-6dBの比帶域は平均で106%になった。この帶域は、従来よりも広範囲のドップラリファレンス周波数を設定できる値であった。

【0033】（比較例1）実施例1と同一の単結晶塊から切りだした（001）ウエハを用い、同様の研磨、電極形成を行った。電極を形成した（001）ウエハから幅20mm×厚み14mm×厚み0.24mmの薄板を切り出す際に、図5に示す如く、圧電単結晶薄板51の面積の0%から4%が先述の透過率が低い部分51aとなるようにした。51bは透過率が高い部分である。このウエハからの切り出し位置以外のプロセスは実施例1と同一とし、図6に示す短冊状振動子からなる超音波プローブを作製した（53a、53bは電極。）。

【0034】この超音波プローブの反射エコーをパルスエコー法により測定し、すべての素子から3.75±0.11MHz以内の中心周波数を有するエコーが受信され、-6dBの比帶域は平均で82%になった。この値は、従来のジルコン酸チタン酸鉛系圧電セラミックスを用いた同タイプの超音波プローブよりは広帯域であるが、実施例1の方がより広帯域特性を示した。また、エコー波形の波高値は実施例1に較べて+1dBで、透過率が低い部分を比較的多く含んだ実施例1の方がわずかに劣るが、有異差と言える程の差はなかった。

【0035】（実施例2）実施例1と同一の単結晶塊から切りだした（001）ウエハを用い、同様の研磨、電極形成を行った。電極を形成した（001）ウエハから幅20mm×長さ14mm×厚み0.24mmの薄板を切り出す際に、図7に示す如く、圧電単結晶薄板71の面積の20%から25%が先述の透過率が低い部分71aとなるようにした。71bは透過率が高い部分である。このウエハからの切り出し位置以外のプロセスは実施例1と同一とし、図8に示す短冊状振動子からなる超音波プローブを作製した（73a、73bは電極。）。

【0036】この超音波プローブの反射エコーをパルスエコー法により測定し、すべての素子から3.50±

0.15MHz以内の中心周波数を有するエコーが受信され、-6dBの比帶域は平均で108%になった。この帶域は、従来よりも広範囲のドップラリファレンス周波数を設定できる値であった。また、エコー波形の波高値は実施例1に較べ-3dBとなり、やや劣ったが、比帶域では優った。

【0037】（比較例2）実施例1と同一の単結晶塊から切りだした（001）ウエハを用い、同様の研磨、電極形成を行った。電極を形成した（001）ウエハから幅20mm×長さ14mm×厚み0.24mmの薄板を切り出す際に、図10に示す如く、圧電単結晶薄板91の面積の4.5%から5.5%が先述の透過率が低い部分91aとなるようにした。このウエハからの切り出し位置以外のプロセスは実施例1と同一とし、図10に示す短冊状振動子からなる超音波プローブを作製した（93a、93bは電極。）。

【0038】この超音波プローブの反射エコーをパルスエコー法により測定し、すべての素子から3.25±0.25MHz以内の中心周波数を有するエコーが受信され、-6dBの比帶域は平均で80%になった。この値は、従来のジルコン酸チタン酸鉛系圧電セラミックスを用いた同タイプの超音波プローブよりは広帯域であるが、実施例1及び2の方がより広帯域特性を示した。また、エコー波形の波高値は実施例2に較べて-8dBとなり、比帶域と共に大きく劣った。

【0039】（比較例3）実施例1と同一の単結晶塊から切りだした（001）ウエハを用い、同様の研磨、電極形成を行った。電極を形成した（001）ウエハから幅20mm×長さ14mm×厚み0.24mmの薄板を切り出す際に、薄板の面積の3.2%から3.8%が先述の透過率が低い部分となるようにした。このウエハからの切り出し位置以外のプロセスは実施例1と同一とし、超音波プローブを作製した。

【0040】この超音波プローブの反射エコーをパルスエコー法により測定し、すべての素子から3.40±0.20MHz以内の中心周波数を有するエコーが受信され、-6dBの比帶域は平均で93%になった。この帶域は、従来よりも広範囲のドップラリファレンス周波数を設定できる値であった。しかしながら、エコー波形の波高値は実施例1に較べ-6dBと劣った。

【0041】（比較例4）一般にパッキング材の音響インピーダンスを大きくする、すなわち振動子の音響インピーダンスに近づけるほど、特性は広帯域となるが感度は低下する。また、逆にパッキング材の音響インピーダンスを小さくすると狭帯域となるが感度は上がる。そこで前記プローブのパッキング材の音響インピーダンスをこれまでのもの（Z=6.2×10<sup>6</sup>kg/m<sup>2</sup>s）よりも小さいもの（Z=2.2×10<sup>6</sup>kg/m<sup>2</sup>s）に替え、同様のプロセスでプローブを作製した。ところが、従来のパッキング材を使用したプローブと異なり、150  $\mu\text{m}$

ピッチでのアレイ加工時に、振動子の折れ、チッピング、FPCと振動子接合部の剥離等の不良が多く発生し、歩留まりが著しく低下した。

【0042】これは、一般に音響インピーダンスが小さいパッキング材を選択した場合、その材質が柔らかい傾向があり、そのためダイシングソーによる切削性が低下し、このような不良が多発したものである。また、不良が発生しなかった振動子の特性を調べたところ、エコー波形の波高値は実施例1に較べ-4dBとなり、従来のパッキング材を使用したプローブよりも2dB向上していた。しかし、-6dBの比帶域は82%と狭帶域化してしまった。

【0043】このように、透過率の低い部分を実施例2の場合よりも増し、かつパッキング材の音響インピーダンスを小さいものに替えることによっても、感度向上と広帶域化を同時に図ることはできなかった。

【0044】(実施例3)実施例1と同一の単結晶塊から切りだした(001)ウエハを用い、同様の研磨、電極形成を行った。電極を形成した(001)ウエハから幅2.0mm×長さ1.4mm×厚み0.24mmの薄板を切り出す際に、図12に示す如く、圧電単結晶薄板101の面積の20%から25%が先述の透過率が低い部分101aとなるようにした。101bは透過率が高い部分である。この実施例3では、透過率が低い部分101aが短冊状振動子の中心に位置するようにした。

【0045】上記したウエハからの切り出し位置以外のプロセスは実施例1と同一とし、図10に示す短冊状振動子からなる超音波プローブを作製した(図11)。この超音波プローブによれば、透過率が低い部分101aが短冊状振動子の中心に位置しており、透過率が低い部分101aは上述したように周波数定数が小さく、発振される超音波の音速が小さくなるので、超音波の集束性を向上させることができた。

【0046】以上述べたように本発明の詳細を説明したが、本発明は上記した実施例に限定されるものではない。例えば、透過率が低い圧電単結晶部分と透過率が高い圧電単結晶部分とを別々のウエハに形成しておき、それらをウエハからそれぞれ切り出して、透過率が低い圧電単結晶部分と透過率が高い圧電単結晶部分とを接合することにより、本発明の超音波プローブを作製することも可能である。その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することが可能である。

#### 【0047】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば圧電単結晶を用いた超音波プローブにおいて、厚さ1mmにおける波長4.00nmの光に対する透過率が0.1未満の部分が、面積率で5%以上30%未満含まれるような圧電単結晶を用いることにより、従来のセラミックス、又

は透過率が5%未満、若しくは30%以上の圧電単結晶を用いた同タイプの超音波プローブよりも広帯域特性を得ることができる。これにより、広範囲のドプラリファレンス周波数を設定することができるので、医用診断装置などの診断能力向上に顕著な効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明にかかる圧電振動子における周波数とエコー感度との関係を示す特性図。

【図2】 本発明の実施例1にかかる超音波プローブの構成を示す斜視図。

【図3】 本発明の実施例1にかかる、透過率が0.1未満の部分を8~12%含む圧電単結晶の構成を示す斜視図。

【図4】 本発明の実施例1にかかる、透過率が0.1未満の部分を8~12%含む圧電単結晶で作製したプローブの1振動子の構成を示す斜視図。

【図5】 比較例1にかかる、透過率が0.1未満の部分を0~4%含む圧電単結晶の構成を示す斜視図。

【図6】 比較例1にかかる、透過率が0.1未満の部分を0~4%含む圧電単結晶で作製したプローブの1振動子の構成を示す斜視図。

【図7】 本発明の実施例2にかかる、透過率が0.1未満の部分を20~25%含む圧電単結晶の構成を示す斜視図。

【図8】 本発明の実施例2にかかる、透過率が0.1未満の部分を20~25%含む圧電単結晶で作製したプローブの1振動子の構成を示す斜視図。

【図9】 比較例2にかかる、透過率が0.1未満の部分を45~55%含む圧電単結晶の構成を示す斜視図。

【図10】 比較例2にかかる、透過率が0.1未満の部分を45~55%含む圧電単結晶で作製したプローブの1振動子の構成を示す斜視図。

【図11】 本発明の実施例3にかかる超音波プローブの構成を示す斜視図。

【図12】 本発明の実施例3にかかる、透過率が0.1未満の部分を中心部に含む圧電単結晶振動子の構成を示す斜視図。

#### 【符号の説明】

1、51、71、91、101…圧電体

1a、51a、71a、91a、101a…透過率が0.1%未満の圧電体

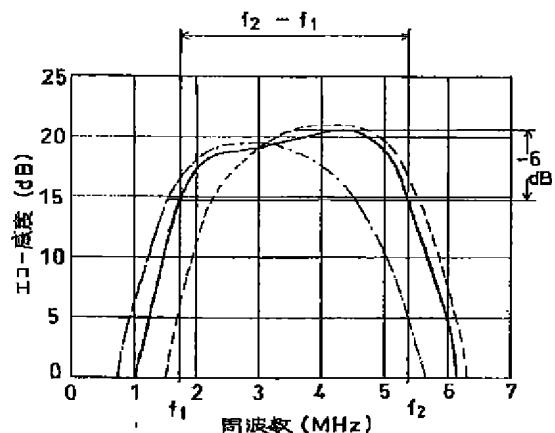
1b、51b、71b、91b、101b…透過率が0.1以上の圧電体

2…パッキング材

3a、3b、53a、53b、73a、73b、93a、93b…電極

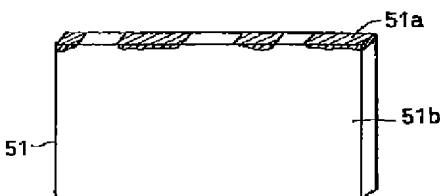
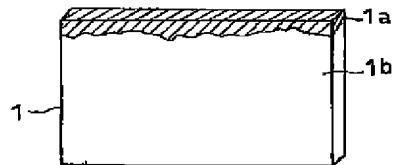
4…マッチング層

【図1】



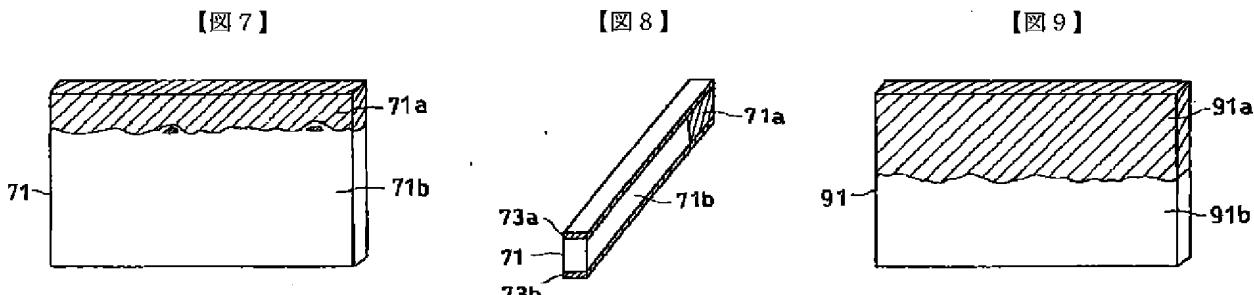
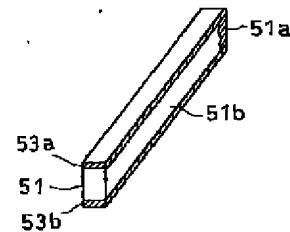
$f_1 = 1.65 \text{ MHz}$   
 $f_2 = 5.40 \text{ MHz}$   
 中心周波数:  $(f_2 + f_1) / 2 = 3.53 \text{ MHz}$   
 -6dB比带域:  $(f_2 - f_1) / \text{中心周波数}$   
 $= (5.40 - 1.65) / 3.53$   
 $= 106\%$

【図3】



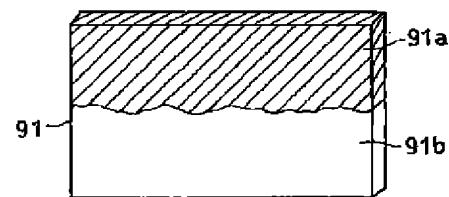
【図5】

【図6】

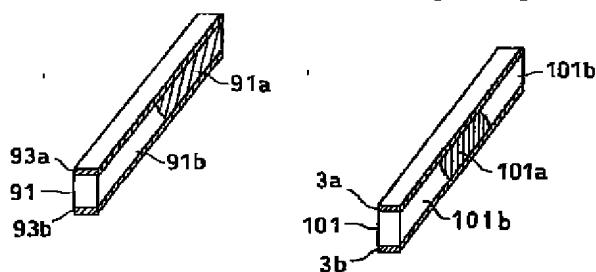


【図10】

【図8】



【図12】



【図11】

